



**Andrejewski, Honke & Partner****Patentanwälte**

Diplom-Physiker  
**Dr. Walter Andrejewski**  
Diplom-Ingenieur  
**Dr.-Ing. Manfred Honke**  
Diplom-Physiker  
**Dr. Karl Gerhard Masch**

**Anwaltsakte:**

60 460/R.

4300 Essen 1, Theaterplatz 3, Postf. 10 02 5-

28. Juli 1983

Patentanmeldung  
MC-Bauchemie Müller GmbH + Co.  
Chemische Fabrik  
Steinberg 5  
4300 Essen-Bredeney

Verfahren und Vorrichtung zum Verfestigen von  
Bodenformationen durch Bodenverdichtung

**Patentansprüche:**

1.. Verfahren zum Verfestigen von Bodenformationen durch Bodenverdichtung, insbesondere der anstehenden Bodenschichten und/oder des Untergrundes von Baugruben sowie des Gebirges beim Tunnel- und Streckenbau, unter Verwendung gesteuert expandierender Zweikomponenten-Kunststoffe, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß die aus einem Harz und einem Härter bestehenden Komponenten eines nach ihrer Mischung aufschäumenden Kunststoffes als Komponenten-Gemisch an vor-

gegebenen Stellen in die zu verfestigende Bodenformation eingebracht und dort mit erhöhtem Druck verpreßt und durch den Kontakt mit Bodenwasser und/oder Bodenfeuchtigkeit aufgeschäumt werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Komponenten-Gemisch an vorgegebenen Stellen in die Bodenformation injiziert wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Komponenten-Gemisch in an vorgegebenen Stellen in die Bodenformation eingebrachte Bohrlöcher eingefüllt wird, z. B. in einen Schlauch, insbesondere Kunststoffschlauch, und durch die mittels einer nachgeschobenen Sprengpatrone erzeugte Sprengwirkung oder auf mechanischem Wege mittels eines Druckstößels in die bohrungsnahen Bereiche der Bodenformation zum Aufschäumen verteilt wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß polyurethanbildende Kunststoffkomponenten gemischt werden.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß mit einer 2- bis 5-fachen Verschäumungszahl gearbeitet wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß mit Reaktionsgeschwindigkeiten zwischen wenigen Sekunden bis zu wenigen Minuten oder bis zu einigen Stunden bzw. Tagen gearbeitet wird.

**Andrejewski, Honke & Partner, Patentanwälte in Essen**

- 3 -

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß zum Erzeugen polyurethanbildender Kunststoffe

85 - 98 Gew. Teile eines Prepolymeren aus dem technisch anfallenden Isomerengemisch des 4,4' Diphenylmethan-diisocyanates mit 2,4' Diphenyl- oder 2,2' Diphenylmethan-diisocyanat (rohes und polymeres MDI) mit Polyolen, die primäre und sekundäre OH-Gruppen aufweisen und sich beispielsweise durch Ethoxylierung des Trimethylpropans bilden, mit

2 - 15 Gew. Teilen eines freien oder verkappten tertiären Amines oder einer elementorganischen Verbindung als Aktivator vermischt werden.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß zum Erzeugen polyurethanbildender Kunststoffe

60 - 80 Gew. Teile eines Gemisches hydroxylgruppenhaltiger Polyether oder Polyester sowie hydroxylgruppenhaltiger organischer Extender mit

0,05 - 2,0 Gew. Teilen eines tertiären, freien oder verkappten Amines oder einer elementorganischen Verbindung als Regler und

20 - 40 Gew. Teilen eines polymeren MDI vermischt werden.

-

**Andrejewski, Hönke & Partner, Patentanwälte in Essen**

- 4 -

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die behandelte Bodenformation nachverdichtet wird.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß den Kunststoffkomponenten organische und/oder anorganische Füllstoffe in fester und/oder flüssiger Form zugesetzt werden, z. B. natürliche oder künstliche Fasern, Flüssigteer oder dergleichen.
11. Dosier- und Mischvorrichtung zur Durchführung des beanspruchten Verfahrens nach einem der Ansprüche 1, 2 und 4 bis 8, gekennzeichnet durch eine Förderpumpe (10) mit einer angeschlossenen Injektionslanze (1).
12. Dosier- und Mischvorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß der Förderpumpe (10) ein Mischer (11), z. B. Rührwerk, vorgeschaltet ist.
13. Dosier- und Mischvorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Förderpumpe (10) als Zweikomponenten-Pumpe mit einem nachgeschalteten Mischkopf oder im Gegenstromverfahren arbeitenden Mischer ausgebildet ist.
14. Dosier- und Mischvorrichtung zur Durchführung des beanspruchten Verfahrens nach den Ansprüchen 1 bis 3, gekennzeichnet durch einen Schlauch, z. B. Kunststoffschlauch zum Mischen und Einschließen der in dem Schlauch oder vorher gemischten Kunststoffkomponenten.
-

**Andrejewski, Honke & Partner, Patentanwälte in Essen**

- 5 -

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Verfestigen von Bodenformationen durch Bodenverdichtung, insbesondere der anstehenden Bodenschichten und/oder des Untergrundes von Baugruben sowie des Gebirges beim Tunnel- und Streckenbau, unter Verwendung gesteuert expandierender Zweikomponenten-Kunststoffe.

Es ist ein Verfahren zum Verfestigen von geologischen Formationen und geschütteten Gesteins- sowie Erdmassen durch Einbringen von zu Polyurethanen ausreagierenden Reaktionsgemischen auf Basis von organischen Polyhydroxylverbindungen und organischen Polyisocyanaten in Hohlräume der zu verfestigenden Formationen bzw. Erdmassen bekannt, wonach als Polyisocyanat-Komponente ein Polyisocyanat-Gemisch verwendet wird, welches vorgegebene Gewichtsprozent an 2,4'-Diisocyanato-diphenylmethan enthält. Das Reaktionsgemisch kann unmittelbar in ein Bohrloch oder mittels einer anschließend zu zerstörenden Zweikammerpatrone in das betreffende Bohrloch eingebracht werden. Beide Verfahrensmaßnahmen haben sich als nachteilig erwiesen, weil die Hohlräume in der zu verfestigenden Bodenformation nur lose miteinander verbunden werden, so daß weder eine Bodenverdichtung stattfindet, noch die Bodenverfestigung den an eine Baugrube gestellten Anforderungen entspricht. - Hier will die Erfindung Abhilfe schaffen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren anzugeben, wonach sich die anstehenden Bodenschichten und/oder der Untergrund von Baugruben sowie das Gebirge beim Tunnel- und Streckenbau oder dergleichen in verhältnismäßig einfacher Weise einwandfrei durch Bodenverdichtung verfestigen lassen, so daß die verfestigten Bodenfor-

**Andrejewski, Honke & Partner, Patentanwälte in Essen**

- 6 -

mationen für sämtliche im Tiefbaubereich vorkommenden Arbeiten hinreichend abgesichert sind.

Diese Aufgabe löst die Erfindung bei einem gattungsgemäßen Verfahren dadurch, daß die aus einem Harz und einem Härter bestehenden Komponenten eines nach ihrer Mischung aufschäumenden Kunststoffes als Komponenten-Gemisch an vorgegebenen Stellen in die zu verfestigende Bodenformation eingebracht und dort mit erhöhtem Druck verpreßt und durch den Kontakt mit Bodenwasser und/oder Bodenfeuchtigkeit aufgeschäumt werden. Das kann nach bevorzugter Ausführungsform der Erfindung so geschehen, daß das Komponenten-Gemisch an vorgegebenen Stellen in die Bodenformation injiziert wird. Es besteht aber nach einem anderen Vorschlag der Erfindung mit selbständiger Bedeutung die Möglichkeit, daß das Komponenten-Gemisch in an vorgegebenen Stellen in die Bodenformation eingebrachte Bohrlöcher eingefüllt wird, z. B. in einen Kunststoffschlauch, und durch die mittels einer nachgeschobenen Sprengpatrone mit geringer Sprengkraft erzeugte Sprengwirkung in die bohrungsnahen Bereiche der Bodenformation zum Aufschäumen verteilt bzw. eingesprengt wird. - Diese Maßnahmen der Erfindung haben zur Folge, daß die in der zu verfestigenden Bodenformation befindlichen Hohlräume einwandfrei von dem aufschäumenden Komponenten-Gemisch in erheblichem Maße reduziert werden, und zwar entweder durch unmittelbare Injektion oder andere Verbringung an diejenigen Stellen, an denen die Bodenverfestigung erfolgen soll. Dort expandiert das aufschäumende Komponenten-Gemisch, so daß eine Verdrängung der Hohlräume im mineralischen Gefüge der Bodenformation infolge gesteuerter Expansion des injizierten oder dergleichen eingebrachten Kunststoffes erfolgt. Bodenwasser, welches sich in den Hohlräumen befindet, wird ebenfalls verdrängt und

zugleich für den Aufschäumungsprozeß herangezogen. Durch die Entwässerung der Umgebung der Injektions- oder Einbringungsstelle und durch die zunehmend dichtere Lagerung der Mineralien entsteht gleichzeitig eine Erhöhung der inneren Reibung und Druckfestigkeit. Diese Effekte lassen sich selbst in Abständen von mehr als einem Meter von der Injektions- oder Einbringungsstelle in der nach dem erfindungsgemäßen Verfahren behandelten Bodenformation noch deutlich nachweisen. Das ist vermutlich darauf zurückzuführen, daß durch das praktisch langsame Erzeugen von Drücken in der behandelten Bodenformation eine Verschiebung im Gefüge der mineralischen Umgebung eintritt, die eine Verkleinerung der Hohlräume bewirkt. Durch die Langzeitwirkung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird das Bodenwasser selbst aus dem Mikrogefüge verdrängt. Bei zu hohen Drücken - wie sie beispielsweise bei vorbekannten Injektionsverfahren angewendet werden - entstehen entweder spontane Spalten und Klüfte, in denen sich dann das Injektionsmaterial ansammelt und aushärtet, oder das Injektionsmaterial verteilt sich über nahegelegene Hohlräume, in denen es dann erstarrt, so daß eine weitere Druckübertragung auf die weitere Umgebung nicht mehr stattfindet. - Diese Nachteile vermeidet die Erfindung.

Durch die erfindungsgemäße Injektion bzw. Verbringung des aufschäumenden Komponenten-Gemisches und anhand der geologischen Verhältnisse läßt sich die Form der in den behandelten Bodenformationen entstehenden Druckkörper vorausbestimmen. Hierdurch ist es möglich, Tragkonstruktionen in den anstehenden Bodenschichten und/oder in dem Untergrund von Baugruben ohne aufwendige Erdarbeiten und im Nachhinein durch gezielte Bodenverfestigung im Wege der Bodenverdichtung auch an unzugänglichen Stellen wirtschaftlich durchzuführen.



ren, wie beispielsweise unter errichteten Gebäuden. - Darin sind die wesentlichen durch die Erfindung erreichten Vorteile zu sehen.

Weitere erfindungswesentliche Merkmale sind im folgenden aufgeführt. So können zur Herstellung des Komponenten-Gemisches polyurethanbildende Kunststoff-Komponenten gemischt werden. In diesem Zusammenhang sind insbesondere Polyurethan-Hartschäume von Bedeutung. Darüber hinaus können aber auch andere Kunststoffe Verwendung finden, deren Komponenten nach ihrer Mischung aufschäumen und im Wege der gesteuerten Expansion Hartschäume bilden. Die Verschäumungszahl und Reaktionsgeschwindigkeit der Kunststoff-Komponenten werden durch geeignete Auswahl der Materialien und deren Zusammensetzung vorher bestimmt. Vorzugsweise wird mit einer 2- bis 7-fachen Verschäumungszahl gearbeitet, darüber hinaus mit Reaktionsgeschwindigkeiten zwischen wenigen Sekunden bis zu wenigen Minuten oder gegebenenfalls bis zu einigen Stunden bzw. Tagen. Die Einstellung der Reaktionszeit ist von besonderer Bedeutung für die Durchführung der erfindungsgemäßen Maßnahmen. Diese gleichsam gesteuerte Reaktionszeit wird nach den folgenden Hauptkriterien ausgewählt:

- 1) schnelle Reaktionszeit (wenige Sekunden bis zu wenigen Minuten bzw. ca. eine halbe Stunde) wird in sehr hohlraumhaltigem, wasserführendem Gebirge verlangt, dort geht es darum, an mehreren Stellen gleichzeitig durch ein plötzliches Aufschäumen den Wassereinbruch zu stoppen.
- 2) mittlere Reaktionszeit (von wenigen Minuten bzw. einer halben Stunden bis zu zwei Stunden) werden erforderlich, wo

**Andrejewski, Honke & Partner, Patentanwälte in Essen**

- 9 -

noch genügend injezierbarer Hohlraum vorhanden ist, jedoch durch ein langsames Ansteigen der Drücke Spannungen im Untergrund erzeugt werden, die neben der eigentlichen Bindemittelfunktion des injizierten Materials gleichzeitig eine Tragwirkung durch Gebirgeverschiebungen erreichen.

- 3) langsame Reaktionszeit (von mehreren Stunden bis zu zwei Tagen) wird dort verlangt, wo bei dicht gelagertem Boden oder hohem Schluff - oder Tonanteil durch die langsame Reaktion langsam ansteigende Spannungen im Untergrund entstehen und hierdurch die Tragfähigkeit erhöht wird; bei zu schneller Reaktion oder zu hohem Injektionsdruck würde hier die Gefahr der Aufspaltung des Bodens entstehen, so daß anstelle der kugelartigen Injektionskörper flache Scheiben entlang der aufgesprengten Klüfte entstehen würden.

In diesem Zusammenhang sieht die Erfindung unter Berücksichtigung einer schnellen Reaktionszeit vor, daß zur Erzeugung polyurethanbildender Kunststoffe 85 bis 98 Gew. Teile eines Prepolymeren aus dem technisch anfallenden Isomerengemisch des 4,4'-Diphenylmethan-diisocyanates mit 2,4'-Diphenyl- oder 2,2'-Diphenylmethan-diisocyanat (rohes oder polymeres MDI) mit Polyolen, die primäre und sekundäre OH-Gruppen aufweisen und sich beispielsweise durch Ethoxylierung des Trimethylolpropans bilden, mit 2 bis 15 Gew. Teilen eines freien oder verkappten tertiären Amines oder einer elementorganischen Verbindung als Aktivator vermischt werden.

In diesem Fall ist eine hohe Reaktivität gewährleistet, wonach die Aufschäumungs- und Polyurethanbildung nach Kontakt mit Wasser bzw.

Bodenfeuchte eintritt. - Will man eine mittlere oder niedrige Reaktivität erreichen, dann werden nach weiterer Lehre der Erfindung 60 bis 80 Gew. Teile eines Gemisches hydroxylgruppenhaltiger Polyether oder Polyester sowie hydroxylgruppenhaltiger organischer Extender mit 0,05 bis 2,0 Gew. Teilen eines tertiären, freien oder verkappten Amines oder einer elementorganischen Verbindung als Regler und 20 bis 40 Gew. Teilen eines polymeren MDI vermischt. In diesem Fall entsteht bei Zutritt von Wasser bzw. Bodenfeuchtigkeit ein zelliger Polyurethan-Kunststoff. Die Reaktivitätssteuerung erfolgt typischerweise durch die bloße Variation (0,5 bis 2,0 Gew. Teile) der in der Rezeptur enthaltenen Reglermenge.

Darüber hinaus besteht die Möglichkeit einer Nachverdichtung der bereits nach dem erfindungsgemäßen Verfahren behandelten Bodenformation. Zweckmäßigerweise werden den Kunststoff-Komponenten organische und/oder anorganische Füllstoffe in fester und/oder flüssiger Form zugesetzt.

Gegenstand der Erfindung ist auch eine Dosier- und Mischvorrichtung, die zur Durchführung des beanspruchten Verfahrens besonders geeignet ist. In einer Ausführungsform ist diese Dosier- und Mischvorrichtung durch eine Förderpumpe mit angeschlossener Injektionslanze gekennzeichnet. In diesem Fall können die Kunststoff-Komponenten vorher gemischt werden. Es besteht aber auch die Möglichkeit, daß die Förderpumpe als Zweikomponenten-Pumpe mit einem nachgeschalteten Mischkopf oder im Gegenstromverfahren arbeitenden Mischer ausgebildet ist, an den die Injektionslanze angeschlossen ist. Die Zweikomponenten-Pumpe fördert beide Kunststoff-Komponenten getrennt in den

Mischkopf bzw. Mischer. Der Einsatz dieser Dosier- und Mischvorrichtung eignet sich insbesondere bei der Behandlung von Riß-Injektionen. Der besondere Vorteil liegt in der einfachen Sauberhaltung der Dosier- und Mischvorrichtung. Außerdem läßt sich der Zweikomponenten-Kunststoff einwandfrei dosieren und es wird nur so viel Komponenten-Gemisch hergestellt, wie tatsächlich auch benötigt wird. Im übrigen besteht nach einer anderen Ausführungsform die Möglichkeit, der Förderpumpe einen Mischer, z. B. ein Rührwerk, vorzuschalten. - Eine ganz andere Variante mit selbständiger Bedeutung sieht vor, daß die Dosier- und Mischvorrichtung bei bestimmten Kunststoff-Komponenten durch einen Schlauch, z. B. Kunststoffschlauch, zum Mischen und Einschließen der in dem Schlauch unmittelbar oder vorher manuell gemischten Kunststoff-Komponenten gekennzeichnet ist. Der mit dem Komponenten-Gemisch gefüllte Kunststoffschlauch wird dann in eine gezielt eingebrachte Bohrung eingesetzt und wie eingangs erläutert gleichsam gesprengt.

Im folgenden wird die Erfindung anhand einer lediglich ein Ausführungsbeispiel darstellenden Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

- Fig. 1 eine nach dem erfindungsgemäßen Verfahren behandelte Bodenformation mit verringertem Hohlraumgehalt,
- Fig. 2 einen nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Injektionskörper und
- Fig. 3 eine Dosier- und Mischvorrichtung.

Fig. 1 zeigt eine mittels einer eingeführten Injektionslanze 1 nach dem erfindungsgemäßen Verfahren behandelte Bodenformation 2 bzw. geologische Formation. Nach Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist die Lagerung 3 der Bodenformation 2 dichter, besitzt einen verringerten Hohlraumgehalt und ist infolge der erreichten Bodenverdichtung besonders druckfest und stabil, so daß einwandfreie Bodenverfestigung mit einem erheblich verbesserten Verdichtungsgrad erreicht wird.

Nach Fig. 2 soll in eine Baulücke 4 einer dicht bebauten Geschäftsstraße eine mehrgeschossige Tiefgarage mit einer Aushubtiefe von ca. fünfzehn Metern eingebracht werden. Der kiesige Untergrund geht bis zu einer Tiefe von 28 m. Darunter befindet sich festes Tertiärgestein. Da die Geometrie der Tiefgarage genau der Baulücke 4 entspricht, muß die Baugrube 5 mit senkrechten Wänden 6 verwirklicht werden. Die klassische Methode besteht darin, die 28 m Tiefe der Kiesschicht und zusätzlich 2 m Einbindung mit einer Bohrpfahlwand zu sichern. - Nach Lehre der Erfindung wird der Aushub lagenweise vorgenommen und durch sinnvolle Anordnung der Injektionsstellen 7 zugleich mit dem Aushub ein wandbildender Injektionskörper 8 mit Rücksprung 9 injiziert, so daß eine Druckfestigkeitserhöhung der anstehenden Bodenschichten unter der bestehenden Bausubstanz von ca.  $3 \text{ kp/cm}^2 = 0,3 \text{ Newton/mm}^2$  auf über  $20 \text{ kp/cm}^2 = 2,0 \text{ Newton/mm}^2$  erreicht wird. Zugleich sichert der Injektionskörper 8 durch die Ausbildung eines dem Erddruck entgegengerichteten Kippmomentes die Baugrube 5. Dadurch wird senkrechter Aushub der Baugrubenwände 6 möglich. Die nach dem erfindungsgemäßen Verfahren durchgeführte Baugrubensicherung ist wesentlich rationeller und kostengünstiger als die Si-

cherung durch das Erstellen einer Bohrpfahlwand. Tatsächlich wird etwa ein Drittel der Kosten eingespart.

Fig. 3 zeigt schematisch eine Förderpumpe 10 mit einem vorgeschalteten Mischer 11 und einer nachgeschalteten Injektionslanze 1 zum Einbringen des Komponenten-Gemisches in die jeweilige Bodenformation 2.

14.

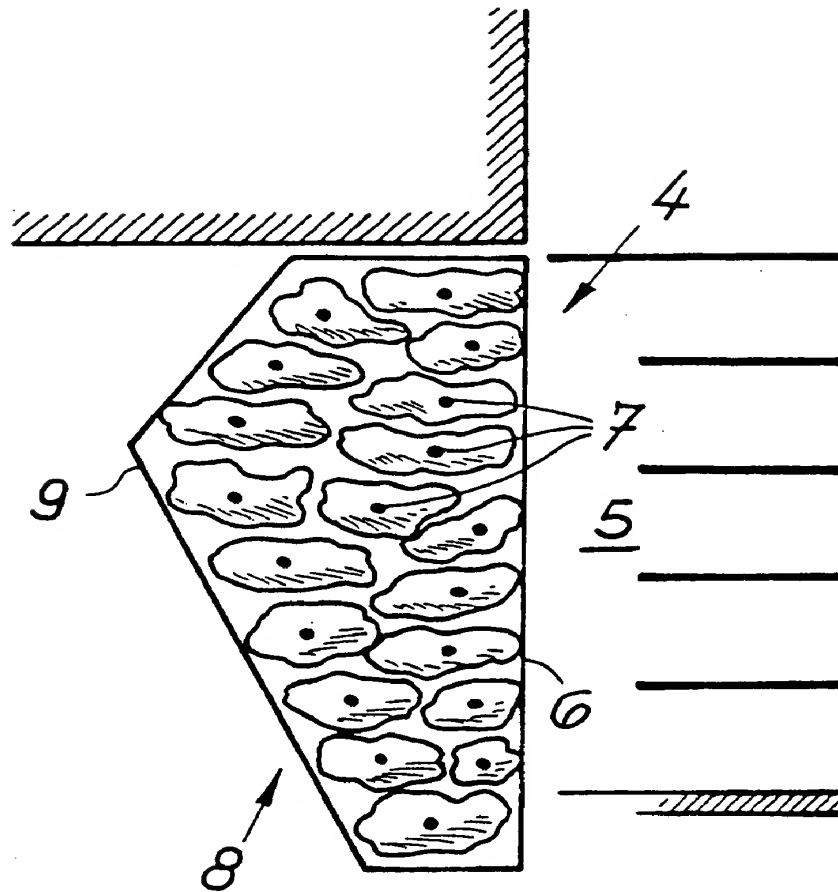


Fig. 2

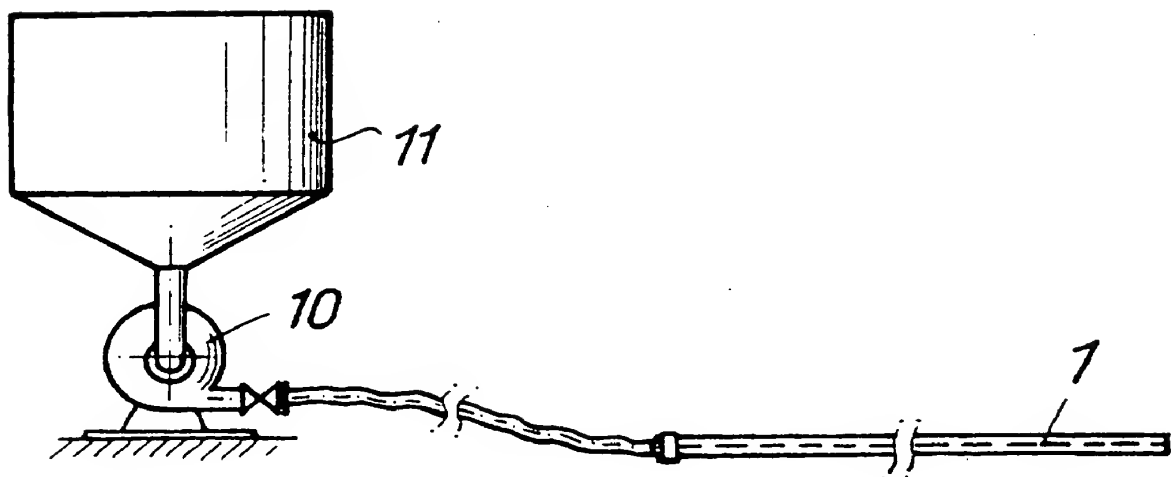


Fig. 3

07.0

15.

Number:  
Int. Cl.<sup>3</sup>:  
Anmeldetag:  
Offenlegungstag:

3332256  
33 32 256  
E 02 D 3/12  
7 September 1983  
6. September 1984

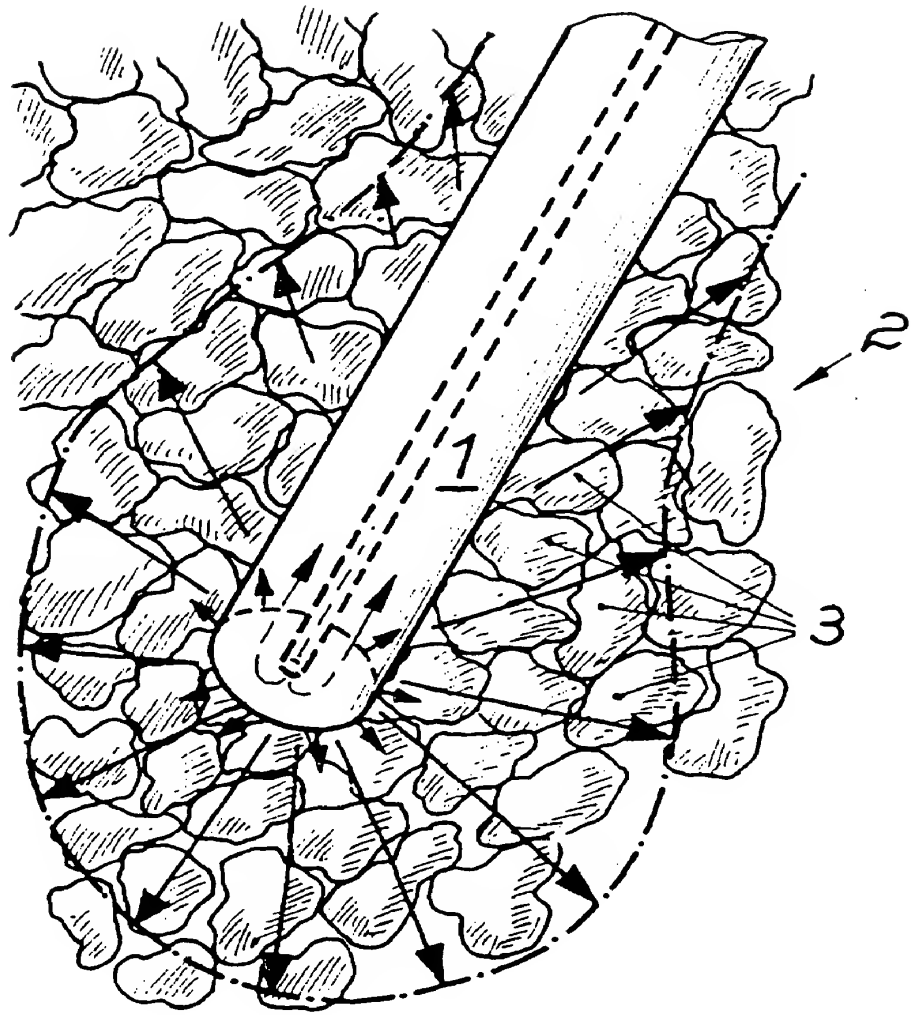


Fig. 1